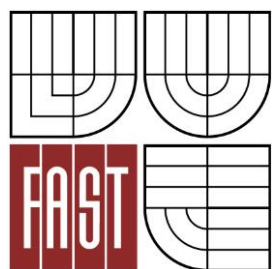




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

VÝVOJ SAMONIVELAČNÍCH SMĚSÍ NA BÁZI PORTLANDSKÉHO CEMENTU

THE DEVELOPMENT OF SELF-LEVELING MIXTURE BASED ON PORTLAND CEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DENISA KÁBRTOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA FRIDRICHOVÁ, CSc.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Denisa Kábrtová

Název Vývoj samonivelačních směsí na bázi
portlandského cementu

Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Online databáze SCOPUS, ELSEVIER, WEB OF SCIENCE.

DUDA, H., W., Cement Data-book, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1975.

HLAVÁČ, J., Základy technologie silikátů, 1. vydání. Praha: SNTL, 1981.

VAVŘÍN, F., Maltoviny, 3. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987.

ŠAUMAN, Z., Maltoviny I, VUT v Brně, 1993

LACH, V., DAŇKOVÁ, M., Mikrostruktura stavebních látek, 2. vydání, VUT Brno, ISBN 80-214-0309-8.

Zásady pro vypracování

V návaznosti na předchozí vývoj bude práce zaměřena na závěrečnou optimalizaci normou sledovaných vlastností samonivelačních směsí typu stěrka a potěr. Směsi budou navrženy na bázi ternárního pojivového systému tvořeného portlandským cementem, sádrovcem a hlinitanovým cementem. Na základě dosažených výsledků budou orientačně odzkoušeny aplikační vlastnosti vyvinutých směsí.

Práce bude provedena v souladu s následujícími pokyny:

- studium teoretických podkladů v oblasti ternárních pojiv,
- popis normou požadovaných parametrů,
- rešerše dosažených výsledků,
- návrh optimalizovaného složení samonivelační stěrky a potěru,
- stanovení základních technologických a aplikačních vlastností.

Rozsah práce cca 40 stran formátu A4 včetně příloh.

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na vývoj samonivelačních směsí na bázi ternárního pojivového systému tvořeného portlandským cementem, sádrovcem a hlinitanovým cementem. U navržených směsí se zaměřujeme zejména na použití dvou druhů plastifikační přísady, následně posuzujeme jejich vliv na technologické vlastnosti vyvinutých hmot.

Klíčová slova

Samonivelační stěrka, samonivelační potěr, ternární pojivový systém, portlandský cement, hlinitanový cement, sádrovec.

Abstract

Bachelor work is focused on the development of self-levelling compound based on ternary binder system that's comprised from portland cement, gypsum and aluminate cement. For suggested mixtures it's mainly focused on using two kinds of plasticizing additives. And afterwards we assess their effect on the technological properties of developed substance.

Keywords

Self-levelling floor screed, self-levelling underlay, ternary binder system, portland cement, alumina cement, gypsum.

Bibliografická citace VŠKP

Denisa Kábrtová *Vývoj samonivelačních směsí na bázi portlandského cementu*. Brno, 2016. 58 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Denisa Kábrtová

Poděkování:

Na tomto místě chci poděkovat zejména paní prof. Ing. Marcele Fridrichové, CSc., za odborné a pedagogické vedení, dále pak Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D. a všem zaměstnancům z ÚTHD FAST VUT Brno, kteří mi v průběhu bakalářské práce pomáhali. V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině, především rodičům, kteří mě po celou dobu podporovali.

OBSAH

Úvod	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Samonivelační hmoty obecně.....	11
1.1. Samonivelační potěry a stěrky.....	11
1.2. Druhy samonivelačních hmot.....	12
1.2.1. Anhydritové samonivelační potěry.....	13
1.2.2. Samonivelační potěry na bázi cementu	14
1.3. Rozdělení potěrů dle způsobu aplikace	15
1.3.1. Spojený potěr.....	16
1.3.2. Potěr na dělicí vrstvě	16
1.3.3. Potěr na izolační vrstvě.....	17
1.3.4. Potěr pro podlahu vytápěnou	18
1.4. Vlastnosti potěrových materiálů	19
1.4.1. Pozitivní vlastnosti	19
1.4.2. Nedostatky potěrových materiálů	19
1.5. Normové požadavky na samonivelační materiály	20
1.5.1. Povinné normativní zkoušky	20
1.5.1.1. Pevnost v tahu za ohybu	20
1.5.1.2. Pevnost v tlaku	21
1.5.1.3. Odolnost proti ohrusu	22
1.5.1.4. Hodnota pH	23
1.5.2. Zkoušky volitelné	23
1.5.2.1. Tvrdost povrchu.....	23
1.5.2.2. Odolnost proti ohrusu valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou ...	23
1.5.2.3. Doba zpracovatelnosti	23
1.5.2.4. Smrštění rozpínáním.....	23
1.5.2.5. Konzistence	23
1.5.2.6. Modul pružnosti v tahu za ohybu	24
1.5.2.7. Přídržnost.....	24
1.5.2.8. Odolnost proti rázu	24
2. Ternární pojivový systém	24
2.1. Složky ternárního pojiva.....	24
2.1.1. Portlandský cement	24
2.1.1.1. Suroviny pro výrobu portlandského slínku	25
2.1.1.2. Slínkové minerály.....	27
2.1.1.3. Výpočtová pravidla.....	29

2.1.1.4. Technologie výroby	30
2.1.2. Hlinitanový cement	31
2.1.2.1. Suroviny pro výrobu hlinitanového cementu	31
2.1.2.2. Mineralogické složení	31
2.1.2.3. Technologie výroby	32
2.1.2.4. Výhodné vlastnosti	32
2.1.3. Sádrovec	33
2.1.3.1. Rozdělení dle vzniku	33
II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
Cíl práce	35
1. Metodika.....	35
2. Postup prací	35
2.1. Poloprovozní zkouška.....	35
2.2. Úprava vlastností poloprovozně vyrobených stěrtek.....	36
2.2.1. Obecné zásady	36
2.2.2. Stanovení konzistence	37
2.2.3. Výroba zkušebních těles.....	37
2.2.4. Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku.....	37
2.2.5. Objemová hmotnost.....	38
2.3. Probarvení samonivelační stěrky.....	38
3. Použité suroviny a přístroje.....	38
3.1. Použité suroviny	38
3.2. Použité přístroje.....	40
4. Vyhodnocení výsledků.....	44
4.1. Poloprovozní zkouška.....	44
4.2. Úprava vlastností poloprovozně vyrobených stěrtek.....	47
4.3. Probarvení samonivelační stěrky.....	48
5. Diskuze výsledků	53
Závěr	54
Seznam použité literatury	55
Seznam obrázků.....	57
Seznam tabulek.....	58

Úvod

Samonivelační směsi představují nové inovativní postupy při realizaci podlahových hmot. Díky schopnosti samonivelace vytvářejí rovný, estetický povrch, který je u podlahových skladeb požadován. Přinášejí sebou mnoho nových možností a na trh se dostávají mezi moderní stavební materiály. V posledních letech se stávají nedílnou součástí při vyrovnávání povrchů jak v občanské, tak v bytové výstavbě. Samonivelační směsi začínají být vedle anhydritového pojiva dosti často navrhovány na bázi ternárního pojivového systému, tvořeného třemi základními složkami, a to portlandským cementem, hlinitanovým cementem a sádrovcem či jinou modifikací síranu vápenatého. Je zde možnost další modifikace a úprava pojivové složky pomocí aditiv v závislosti na požadované výsledné vlastnosti směsi.

Jelikož stavební hmoty založené na ternárním pojivovém systému jsou stále ve fázi vývoje, je bezpochyby nutné zkoušet inovativní skladbu obohacenou o další složky. Vzhledem k těmto poznatkům je práce orientována zejména na sledování vývoje samonivelačních směsí v závislosti na dávkování jednotlivých modifikujících přísad.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Samonivelační hmoty obecně

Materiály v podobě suchých stavebních směsí patří v současné době mezi velice používané. Ačkoli jejich dostupnost na stavebním trhu je relativně krátkodobá, přináší s sebou mnoho výhod, zejména při realizaci stavebních prací. U nás je tento druh materiálů používán už od druhé poloviny 90. let minulého století. První zmínky jsou však především z oblasti zahraničních výrobců. Až s rozvojem výroby a použití suchých směsí je výroba směřovaná i do České republiky. V současné době patří samonivelační hmoty mezi nejmodernější stavební materiály. Použití těchto hmot je velice rozmanité, vytváří vyrovnávací a také konečnou zpevňující vrstvu na nových i starých podkladech, jsou ideální hmotou pro realizaci plovoucích podlah s možnou kombinací podlahového vytápění.

Samonivelační hmoty se vyznačují několika specifickými vlastnostmi, zejména objemovou stabilitou a schopností samonivelace. Z hlediska materiálové skladby samonivelačních hmot mluvíme o směsi na bázi ternárního pojivového systému tvořeného portlandským cementem, hlinitanovým cementem a vhodným typem síranového pojiva. Tato skladba je ještě doplněna dalšími modifikujícími komponenty. [1]

1.1. Samonivelační potěry a stěrky

Dle normy ČSN EN 13813 [2] Potěrové materiály a podlahové potěry je dáno, že oba pojmy – stěrka i potěr, patří do společné skupiny výrobků, které jsou označeny jako Potěrové materiály.

Norma ČSN 74 4505 [3] definuje podlahový potěr (podlahovou mazaninu) jako vrstvu zhutněného materiálu, obvykle směs pojiva, vody a plniva s maximálním zrnem menším než 8 mm, nanesenou na určeném místě ve vhodné tloušťce. Z hlediska kategorizace potěrů a stěrek lze podlahové hmoty rozdělit na základě rozdílnosti výsledné tloušťky podlahové vrstvy a také maximální velikosti použitého zrna složky pojivové.

U samonivelačních stěrek hovoříme o jemnozrnném materiálu s maximální velikostí zrna do 0,6 mm. Ve výjimečných případech se tato hodnota může blížit hodnotě 1,2 mm. Tloušťka podlahových stěrek se pohybuje v rozmezí 4 – 8 mm. Samonivelační potěr je materiál, kde se maximální velikost zrna pohybuje kolem 4 mm, výjimečně je tato hodnota

navýšena až na 8 mm. Potěry se zhotovují v tloušťkách vrstvy 30 – 60 mm. Na základě těchto dvou parametrů je orientována nabídka sortimentu firem.

Společným znakem, jak už vyplývá z názvu těchto dvou hmot, je pojem samonivelace. Samonivelace je definována jako schopnost materiálu rozlít se v čerstvém stavu a samovolně ztuhnout pomocí své vlastní tíhy. Díky této vlastnosti je vytvořen hladký a rovný povrch. Popsaná schopnost je závislá především na povrchovém napětí materiálu, které je dáno konzistencí, charakterem použitého pojiva a množstvím obsažených přísad. I již zmíněná maximální velikost zrna kameniva patří mezi důležité aspekty pro vytvoření dokonale hladkého povrchu. [1]

Potěry a stěrky se také odlišují způsobem aplikace. Existuje zde závislost mezi velikostí pracovní plochy, kterou musíme zohlednit zejména u potěrů. Technologickou aplikaci je možné u obou druhů hmot provádět jak ručně, tak i strojově, kde je směs přímo lita na podkladní vrstvu.

Jedním z dalších parametrů je míra objemové stability. O této problematice bude pojednáno v další části této práce.

Hlavní roli zde hraje také zastoupení převládajícího typu pojiva. U samonivelačních potěrů se jedná o zastoupení pojiva sádrového, tedy anhydrit, α – hemihydrátu a jejich směsi. Potěry se zastoupením směsných cementových pojiv a sádry se vyskytují v menší míře, jsou spíše ve fázi vývojové. U stěrek je dominantní již zmíněný ternární pojivový systém. Stěrky se používají zejména jako vyrovnávací vrstva před pokládkou finální vrstvy podlahové. V menší míře se uplatňuje jako záливková hmota nebo hmota pojivového charakteru.

Závěrem této kapitoly o samonivelačních stěrkách a potěrech můžeme říci, že rozdílnost mezi těmito dvěma pojmy je zejména v materiálovém složení. [1]

1.2. Druhy samonivelačních hmot

Samonivelační hmoty patří mezi nekonstrukční vrstvy podlahy. Mohou být tedy použity na vrstvy vyrovnávací, které musí být ještě opatřeny vrstvou nášlapnou nebo se použijí přímo ke zhotovení finálního povrchu podlahy.[4]

Norma ČSN EN 13813 [3] rozděluje potěrové materiály podle toho, na jaké bázi jsou vyrobeny. Tedy ve vztahu k pojivové složce se dělí následovně:

- CT – cementové potěrové materiály
- CA – potěrové materiály ze síranu vápenatého
- MA – potěrové materiály z hořečnaté maltoviny
- AS – asfaltové potěrové materiály
- SR – pryskyřičné potěrové materiály

V této kapitole se budeme zabývat pouze potěrovými materiály, které patří mezi nejvíce používané. Jedná se o směsi na bázi cementu nebo anhydritu. [4]

1.2.1. Anhydritové samonivelační potěry

Anhydritová směs představuje novou generaci podlahových hmot pro vnitřní použití v novostavbách, rekonstrukcích bytových a kancelářských objektů, pro plovoucí podlahy, vytápěné podlahy apod. Jedná se o samonivelační podlahový potěr na bázi síranu vápenatého, tedy na bázi „anhydritu“, plniva, modifikujících přísad a vody. Při vytvrzování potěru dochází k tvorbě krystalové struktury. Vznikají relativně velké a kompaktní krystaly, které se mezi sebou celoplošně spojují, čímž vzniká jen minimální množství nevyplněných prostorů. Tento druh litého potěru se vyznačuje zejména snadnou zpracovatelností, rychlou pokládkou a vysokými finálními pevnostmi. Díky tomu, že vytváří dokonale rovné podlahové plochy, můžeme tuto směs použít pod finální nášlapné vrstvy. Dobrá tepelná vodivost je uplatněna pro systémy podlahového vytápění. Skladba potěru je v celé své tloušťce homogenní, proto není potřeba dilatovat jednotlivé topné okruhy. V dnešní době se potěr na této bázi řadí mezi nejspolehlivější podlahové technologie s výraznou eliminací poruch v podlahových konstrukcích.

Rovinatost anhydritových potěrů dosahuje hodnoty $\pm 2 \text{ mm/2m}$. Pro pokládku finálních nášlapných vrstev není tedy potřeba dalšího vyrovnání. Díky skvělé zpracovatelnosti je možné za den pokrýt plochu až 1500 m^2 . Z technologického hlediska se jedná o mokrou technologii, jelikož vrstva desky je velice kompaktní, vysychání je pomalé. V prostředí za normálních podmínek dosahuje vlhkost po 28 dnech hodnoty cca 4%. [11, 6, 5]

Mezi potěry na této bázi patří například výrobky společnosti CEMEX, přesněji výrobek Anhylevel. Díky své vysoké tepelné vodivosti $1,8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ zlepšuje možnost regulace teploty a účinnost podlahového topení. Při jeho zrání nedochází k praskání ani k deformacím.

Obecné výhody:

- vysoká pevnost – pevnost v tahu za ohybu
- nevyžaduje vyztužení, což vede ke snadnějšímu provádění
- snadný a rychlý transport, snadná realizace
- samonivelační schopnost – dokonale rovinný povrch
- redukce tloušťky potěru – nižší zatížení konstrukce, možnost lepšího využití tepelné i kročejové izolace
- pochůznost již po 24 hodinách, zatížitelnost po 4 – 5 dnech
- během zrání a schnutí není nutné ošetřování

Technologické výhody:

- vysoká rychlost pokládky
- čerpání až do vzdálenosti 180 m, výšky cca 30 podlaží
- do velikosti plochy až 600 m² není nutné provádět dilatace

Kromě společnosti CEMEX se výrobou těchto hmot zabývá také Vápenka Vitošov, také např. Morfíco, Cemix aj. Obchodní název produktu Vápenky Vitošov je Salith. Vhodnost použití tohoto druhu samonivelačního potěru je jako vyrovnávací vrstva na betonové potěry. [11, 6, 7, 12]

1.2.2. Samonivelační potěry na bázi cementu

Dalším zástupcem podlahového materiálu jsou samonivelační potěry na bázi cementu. Tento druh potěru je uplatňován především v místech, kde není možné použít potěr anhydritový. Jedním z důvodů je především trvalá vlhkost prostředí. Ve vlhkých provozech nebo provozech s možným nárůstem vlhkosti můžeme použít pouze potěr na bázi cementu, jelikož u potěru na bázi síranu vápenatého dochází působením vlhkosti k poklesu pevnosti až o 50 %. Velké uplatnění cementových potěrů je při rekonstrukcích povrchů betonových podlah, také ve výrobních a skladovacích prostorech, obchodních centrech, hromadných parkovištích aj. Vyznačují se vysokou životností a zvýšenou odolností proti rázovému zatížení. [14, 13, 15]

Obecné výhody:

- rovný povrch díky vysoké tekutosti
- vysoce kvalitní homogenní směs
- pochůznost je možná již po 48 hodinách
- nevyžaduje vyztužení – díky vysokému stupni zhutnění, vykazuje dobré pevnosti
- zatížení konstrukce do jednoho týdne
- snadný transport
- rychlá a jednoduchá pokládka

Technologické výhody:

- odpadá ošetřování v průběhu zrání [13]

1.3. Rozdělení potěrů dle způsobu aplikace

Z konstrukčního hlediska můžeme samonivelační potěry rozdělit podle toho, jakým způsobem jsou v konstrukci podlahy aplikovány.

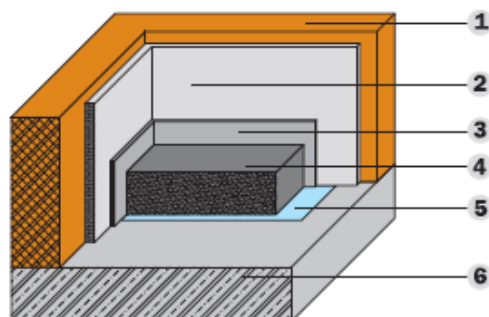
1.3.1. Spojený potěr

Potěr spojený s podkladem netvoří samonosnou konstrukci, což znamená, že kopíruje všechny deformace podkladu, na který je vytvořen. Tento druh potěru se používá zejména tam, kde nejsou kladeny požadavky na tepelnou izolaci a kročejovou neprůzvučnost a charakter podkladu umožňuje pevné spojení potěru s podkladem. Používá se pro vytvoření vyrovnávací vrstvy nebo pro zlepšení vlastností budoucího povrchu podlahy. Klade se v tloušťkách od 10 do 30 mm. Je vhodný do prostor s následnou povrchovou úpravou – pokládka dlaždic, koberce, linolea případně parket apod.

Podklad (základová, stropní deska) musí být stabilizovaný a zbavený všech uvolněných částic a mastnot. Při zhotovení je důležitá penetrace betonového podkladu, abychom předešli možnému úniku vlhkosti z naneseného potěru. Na penetraci lze přímo aplikovat samonivelační vrstvu potěru. [15, 16, 17, 11]

Skladba vrstev:

1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. penetrace
6. nosný podklad



Obr. 1: Spojený potěr [10]

1.3.2. Potěr na dělicí vrstvě

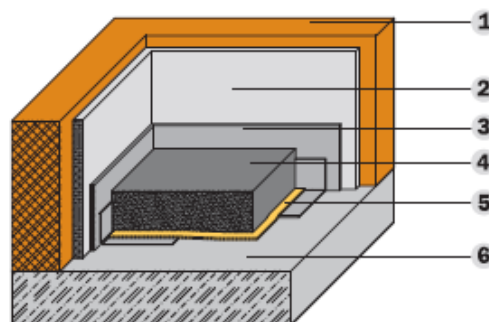
Potěr oddělen od pokladu se nanáší přímo na dělicí vrstvu ze speciálního papíru nebo PVC fólie. Umožňuje aplikaci potěrů na podklady s neuceleným povrchem z důvodu nedostatečné soudržnosti, materiálové nesourodosti, znečištění, zkrátka tam, kde nelze zajistit dostatečnou přídržnost. Uplatňují se i tam, kde chceme vyloučit promítnutí trhlin z podkladu do potěru. V trhlinách totiž nesmí docházet k pohybu ve svislém směru.

Ve svislém směru je tedy podepřen podkladem a ve směru vodorovném může docházet k deformaci nezávisle na podkladní vrstvě.

Tloušťka vrstev se v tomto případě pohybuje obvykle v rozmezí 20 až 40 mm. Důležitou roli zde hraje kvalitní položení vrstvy izolace. K vytvoření dokonalé vrstvy je doporučeno jednotlivé pásy folie slepit lepicí páskou. Potěr je nutné oddělit obvodovými dilatačními páskami od obvodových zdí a všech prostupujících konstrukcí jako jsou stěny, pilíře, potrubí apod. Tento systém lze použít u podlah, které nepodléhají požadavkům na tepelnou izolaci a kročejovou neprůzvučnost. [15, 16, 17, 11]

Skladba vrstev:

1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. separační fólie – dělicí vrstva
6. nosný podklad



Obr. 2: Potěr na dělicí vrstvě [10]

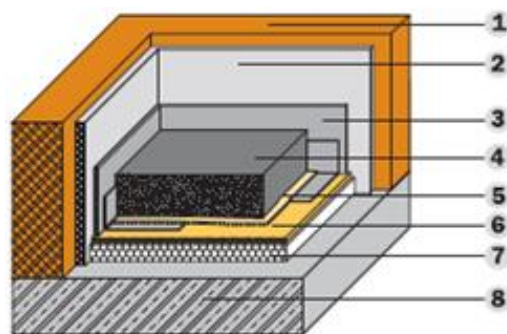
1.3.3. Potěr na izolační vrstvě

Vlastní vrstva potěru je uložena na zvukově nebo tepelně izolační vrstvě, od které je zároveň oddělena vrstvou separační. Je důležité zajistit správnou funkci izolační vrstvy, to znamená zabránit vzniku tepelných a zvukových mostů. V případě současného použití izolace tepelné i zvukové je nutné, aby byla tepelná izolace umístěna pod izolaci zvukovou. Potěr musí být oddělen od všech obvodových a prostupujících konstrukcí dilatačními pásky. Toto je využíváno zejména tam, kde je nutné izolovat prostory v různých podlažích v bytových domech a občanských stavbách.

Únosnost vrstvy je závislá nejen na tloušťce a mechanických vlastnostech potěru, ale také na stlačitelnosti použité izolace pod potěrem. Provádí se v tloušťkách 20 až 40 mm. [15, 16, 17, 11]

Skladba vrstev:

1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. separační fólie
6. kročejová izolace
7. tepelná izolace
8. nosný podklad



Obr. 3: Potěr na izolační vrstvě [10]

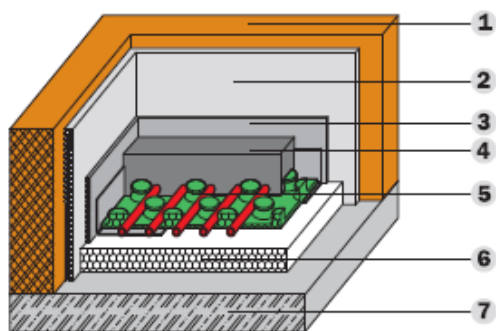
1.3.4. Potěr pro podlahu vytápěnou

Můžeme říci, že se jedná o obdobu předchozího potěru, tedy potěru na teplené izolační vrstvě. Existují dva způsoby realizace. V prvním případě jsou trubky podlahového vytápění uloženy v potěrové desce, zde mluvíme o mokrém způsobu. V případě druhém jsou trubky umístěny na podkladní beton, pod dělicí vrstvu a potěr. Zde mluvíme o aplikaci suchým způsobem. Z důvodu lepšího průchodu tepla a kratší doby vyhřívacího procesu upřednostňujeme způsob mokrý. V tomto případě jsou trubky upevněny a poté zality potěrem ve dvou vrstvách. První vrstva je zhotovena přibližně do 2/3 výšky trubek, vrstva druhá se provádí nejdříve 24 hod. po aplikování vrstvy první. Rozdělením aplikace na dvě fáze zajistíme lepší fixaci trubek. Aplikace ve dvou fázích však není vždy povinná, záleží na tom, jak dobře dojde k uchycení trubek před aplikací potěrové směsi. Minimální tloušťka vrstvy nad rozvody musí být 35 mm. Celková tloušťka vrstvy se tedy pohybuje kolem 50 mm.

Spuštění vytápění je možné nejdříve po 7 dnech po vytvoření potěrové vrstvy. [15, 16, 11]

Skladba vrstev:

1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. podlahové topení
6. tepelná izolace
7. nosný podklad



Obr. 4: Potěr pro vytápěné podlahy [10]

1.4. Vlastnosti potěrových materiálů

Hovoříme-li o výhodách a nevýhodách potěrových materiálů, převažuje spíše strana pozitiv.

1.4.1. Pozitivní vlastnosti

K hlavním výhodám samonivelačních stěrek patří:

- vysoká rovinnost – splňující požadavek max. 2mm/2m
- vysoká aplikační produktivita
- objemová stabilita bez nutnosti provádět smršťovací dilatace, řezání smršťovacích spár
- pochůznost, zatížitelnost je možná už po 2 až 6 hodinách od samotné aplikace (v případě sádrové po 24 hod.)
- hodnoty přídržnosti na většině běžných podkladů jako je beton, keramika aj. dle typu pevnostní třídy stěrky od 0,5 MPa do min. 2 MPa

1.4.2. Nedostatky potěrových materiálů

K nevýhodám samonivelačních stěrek patří:

- nevhodné použití v exteriéru a v trvale vlhkém prostředí (mokré provozy)
- nevhodnost pro spády nad 1 %

- nevhodné do prostředí s vyššími teplotami (horká prostředí) – sádrové maximálně do 80 °C, cementové maximálně do 180 °C

1.5. Normové požadavky na samonivelační materiály

Samonivelační potěry a stěrky posuzujeme dle normy ČSN EN 13813: Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky.

Norma předepisuje požadavky na potěrové výrobky a zkoušky na nich prováděné. Vlastnosti požadované pro potěry vycházejí z účelu jejich použití. Jsou posuzovány ze dvou hledisek: vlastnosti čerstvých nezatvrdlých potěrových materiálů a vlastnosti zatvrdlých potěrových materiálů, z nichž některé jsou povinné a jiné volitelné (s dodatkem „přichází-li v úvahu“). Potřebné dosahované vlastnosti závisí na druhu použitého pojiva případně na jeho obsahu. Zvláštní vlastnosti mohou být dosaženy druhem kameniva, přísadami nebo příměsemi. Taktéž norma uvádí způsob povinného označení potěrového materiálu užívaného pro podlahové potěry, který musí být určen alespoň svým druhem: značka CT, CA, MA, AS nebo SR a pevnostní třídou. Je-li požadováno, pak musí být použito rozšířené označení ve vztahu k dalším vlastnostem (např. odolnost proti obrušování, tvrdost povrchu, aj.) [3]

Je nutno poznamenat, že vlastnosti potěrů v podmínkách stavby nemohou být vždy přímo srovnatelné s vlastnostmi potěrového materiálu v laboratorních podmínkách v důsledku odchylností při míchání, zhutňování a ošetřování.

1.5.1. Povinné normativní zkoušky

1.5.1.1. Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku se dle ČSN EN 13892-2 [8] stanovuje na zkušebních tělesech zhotovených podle ČSN EN 13892-1. Nejprve se stanoví pevnost v tahu za ohybu. Pevnost v tahu za ohybu se vypočítá ze zatížení, které vede k porušení zkušebního tělesa při zatížení vyvozeném v jeho středu.

Pevnost v tahu za ohybu, R_f , v MPa se vypočítá z následujícího vztahu:

$$R_f = \frac{1,5 F_f l}{bd^2} \quad [MPa] \quad [8],$$

kde F_f je zatížení potřebné ke zlomení trámečku [N], b a d představují rozměry trámečku [mm] a l je rozpětí podpor trámečku (100mm). Pevnost v tahu za ohybu zaznamenáváme s přesností 0,05 MPa pro jednotlivá zkušební tělesa a s přesností 0,1 MPa pro průměrnou hodnotu ze tří zkoušek. Pevnost je označována jako „F“ (podle Flexural) s uvedením pevnosti v tahu za ohybu v MPa podle tabulky 1.

Tab. 1: Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu [2]

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1	2	3	4	5	7	10	15	20	30	40	50

1.5.1.2. Pevnost v tlaku

Dvě zbylé poloviny zlomeného zkušební tělesa ze zkoušky pevnosti v tahu za ohybu se poté použijí pro stanovení pevnosti v tlaku. Každá polovina se zkouší při zatížení tlakem, rovnoměrně rozloženém po části zlomeného zkušební tělesa.

Pevnost v tlaku se vypočítá ze zatížení, které vedlo ke konečnému porušení zkušební tělesa z následujícího vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \text{ [MPa]} \quad [8],$$

kde F_c je zatížení potřebné ke zlomení trámečku [N] a A představuje tlačnou plochu 40 × 40 mm. Pevnost v tlaku se zaznamenává s přesností 0,05 MPa pro jednotlivá zkušební tělesa a s přesností 0,1 MPa pro průměrnou hodnotu ze šesti částí zkušebních těles. Pevnost je označována jako „C“ (podle Compresion) v pevnostních třídách v MPa podle tabulky 2.

Tab. 2: Pevnostní třídy potěrových materiálů [2]

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C40	C50	C60	C70	C80
Pevnost v tlaku [MPa]	5	7	12	16	20	25	30	40	50	60	70	80

1.5.1.3. Odolnost proti obrušování

Tato zkouška může být provedena jednou ze tří zkušebních metod, u cementových potěrů je povinná, avšak pouze pro potěrový materiál určený pro povrch odolný vůči otěru. V případě materiálu na bázi síranů se jedná o zkoušku volitelnou. Zkušební metody se dělí následovně:

- metoda Böhme, nesoucí označení „A“ (Abrasion), podle hodnoty množství obroušeného materiálu v $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$, podle tabulky 3.

Tab. 3: Odolnost proti obrušování v třídách Böhme pro cementové a jiné potěrové materiály [2]

Třída	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Množství obrušování v $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	22	15	12	9	6	3	1,5

- metoda BCA, se označuje jako „AR“ (Abrasion Resistance), v závislosti na hloubce obroušeného materiálu ve 100 μm , podle tabulky 4.

Tab. 4: Odolnost proti obrušování v třídách BCA pro cementové a jiné potěrové materiály [2]

Třída	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Maximální hloubka obrušování v μm	600	400	200	100	50

- odolnost proti obrušování valivým zatížením se označuje jako „RWA“ (Rolling Wheel Abrasion), dle množství obrušování v cm^3 , podle tab. 5.

Tab. 5: Odolnost proti opotřebení valivým zatížením pro cementové a jiné potěrové materiály [2]

Třída	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1
Množství obrušování v cm^3	300	100	20	10	1

1.5.1.4. Hodnota pH

Stanovuje se povinně pouze v případě potěrů ze síranu vápenatého, a to dle EN 13454-2, přičemž hodnota pH musí být rovna nebo větší než 7. U cementového potěrového materiálu a u potěrového materiálu z hořečnaté maltoviny může výrobce deklarovat hodnotu pH podle EN 13454-2.

1.5.2. Zkoušky volitelné

1.5.2.1. Tvrdost povrchu

Tvrdost povrchu potěrových materiálů určených k namáhání ohrusem musí být deklarována výrobcem a současně může být deklarována případně pro jiné potěrové materiály s drobným kamenivem (<4mm). Označuje se jako „SH“ (Surface Hardness) a podle hodnoty tvrdosti povrchu v N/mm² se dělí do 7 tříd (SH30, SH40, SH50, SH70, SH100, SH150 a SH200).

1.5.2.2. Odolnost proti obrusu valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou

Nese označení „RWFC“ (Rolling Wheel Floor Covering) a v závislosti na hodnotě opotřebení valivým zatížením v N se dělí do 5 tříd (RWFC150, RWFC250, RWFC350, RWFC450 a RWFC550).

1.5.2.3. Doba zpracovatelnosti

Při provádění této zkoušky dobu zpracovatelnosti deklaruje výrobce dle normy EN 13454-2.

1.5.2.4. Smrštění rozpínáním

Výsledná hodnota se uvádí v jednotkách mm/m dle EN 13454-2 nebo EN 13872, je-li výrobek určen pro nanesení ve vrstvě menší než 10 mm.

1.5.2.5. Konzistence

Stanovuje se v mm/m dle EN 13454-2, je-li hodnota konzistence větší než 300 mm, může být stanovena podle EN 12706.

1.5.2.6. Modul pružnosti v tahu za ohybu

Zkouška se provádí podle EN ISO 178 a výsledný modul pružnosti v tahu za ohybu je označován jako „E“ (Elasticity), s hodnotou v jednotkách kN/mm^2 odpovídající třídám E1 až E20, pro vyšší hodnoty pak v násobku 5 (E25, E30, E35, atd.).

1.5.2.7. Přídržnost

Označuje se jako „B“ (Bond) s uvedením hodnoty přídržnosti v N/mm^2 , náleží do příslušných tříd B0,2 až B2,0.

1.5.2.8. Odolnost proti rázu

Odolnost proti rázu u potěrového materiálu, naneseného na betonový povrch, musí být stanovena podle EN ISO 6272. Její hodnota se stanovuje v Nm a nese označení „IR“ (Impact Resistance). [2]

2. Ternární pojivový systém

Jedná se o systém, který tvoří základní pojivovou koncepci potěrových materiálů. Mezi hlavní složky tohoto systému patří portlandský cement, hlinitanový cement a sádrovec. V následující části této práce bude o těchto složkách podrobně pojednáno. Zaměříme se obzvláště na teoretické základy výroby suroviny, základní vlastnosti, druhy jednotlivých složek a také mineralogické složení.

2.1. Složky ternárního pojiva

2.1.1. Portlandský cement

Portlandský cement patří mezi jednu z nejmladších maltovin, která se ve větší míře začala používat až na přelomu 19. a 20. století. Díky svým mimořádným vlastnostem se portlandský cement rychle dostal mezi základní suroviny používané po všechny stavební účely. V současné době je řazen mezi běžně používané stavební hmoty a vzhledem k jeho výhodným vlastnostem se jeho výroba na celém světě stále zvyšuje. Za zmínku stojí také to, že Česká republika je řazena mezi země s vyspělým cementářským průmyslem.[20]

Po stránce technologické je možné portlandský cement definovat jako maltovinu, kterou lze získat z jemně rozemleté surovinové směsi, která bude následně vypálena až do stavu slinutí, po kterém následuje rychlé ochlazení a rozemletí na požadovanou jemnost. [18] Výroba probíhá tedy výpalem surovinové moučky, která je vyrobena v obecném případě z vápenců, které obsahují větší množství hydraulických oxidů a zemin.[20] Po stránce chemické se jedná o obsah čtyř základních oxidů a to CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Dávkování těchto čtyř surovin musí být přesné, pro jeho stanovení (výpočet) se používá řada výpočtových pravidel, o kterých bude pojednáno později. Portlandský cement je nositelem slínekových minerálů C_3S (alit), C_2S (belit), C_3A (trikalciumaluminát), C_4AF (brownmillerit).

2.1.1.1. Suroviny pro výrobu portlandského slínku

Suroviny používané pro výrobu portlandského cementu rozdělujeme do tří základních skupin: suroviny základní, suroviny doplňující neboli korigující a suroviny zušlechťující.

a) základní suroviny – tvoří převážnou část směsi

- Vápenec
 - tvoří asi 75% surovinové moučky
 - vysokoprocenní vápence nejsou nejvhodnější (jsou málo reaktivní)
 - nejvhodnější jsou slinuté s obsahem hydraulických oxidů (cementárna Čížkovice)
 - velikost částic 0,06 mm (60 μm), nejvhodnější 5 – 20 μm , zrna pod 5 μm jsou nežádoucí, protože takto malé částice mohou reagovat (kalcinovat) předčasně při nižších teplotách, tím vznikají vysoce aluminátové ferity, což se projeví jako nedostatek vápna pro tvorbu C_3S .
 - eliminace znečišťujících látek nevhodných pro tvorbu slínku (anhydrit – 1,5 až 1,7 SO_3 ;dolomit – 3 až 3,5% MgO ne více)
- Zeminy
 - zpevněné (břidly, břidlice) jsou drceny a mlety na 60 μm
 - nezpevněné (jíly, hlíny) jsou drceny, mlety nebo rozplavovány (mokrá způsob), velikost částic po úpravě 2 – 20 μm

Je důležité podotknout, že pokud zemina obsahuje zrna křemene, je nutné provést velice jemné mletí. Obsah větších zrn by mohl vést k rekrytalizaci slínkových minerálů (vznik větších, uspořádanějších a tím méně aktivních složek), docházelo by tedy k poruchám.

Zeminy, které obsahují jílový minerál montmorillonit, nesmí být použity pro mokrý způsob výroby této suroviny. Při kontaktu tohoto minerálu s vodou dochází k jeho bobtnání, je velice tixotropní. Illitické zeminy nelze používat pro polosuchý způsob výroby, jelikož se zvyšující se teplotou minerál expanduje a vytváří se sbalky, které nejsou vyhovující. [9]

- Škodlivé látky (škodliviny)

- obsah oxidů v omezeném množství
- SO_3 – max. do 3%, při výpalu negativně ovlivňuje průběh výpalu, také zpomaluje hydrataci
- MgO – max. do 5% (ve formě periklasu opožděná reakce s vodou – zvětšuje objem – hořečnaté rozpínání: $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$)
- alkálie (K_2O , Na_2O) – max. do 2% (tvorba pecních nálepků, alkalické rozpínání)
- P_2O_5 – do 1% (pozitivní vliv na průběh výpalu)
 - nad 1% (zpomalení hydratace)

b) korigující suroviny (korekční)

- CaO – vysokoprocentní vápenec
- SiO_2 – křemenný písek (křemelina, vysokopevnostní popílek)
- Al_2O_3 – bauxit
- Fe_2O_3 – kyzové výpalky

c) Zušlechťující přísady

- intenzifikátory
 - látky, snižující viskozitu kapalně fáze (taveniny) vznikající ve slínku, při optimální dávce snižují teplotu výpalu až o 100 °C.
Vhodné pro málo reaktivní suroviny (např.: výroba bílého cementu)
 - např.: fluoridy – CaF_2 , Na_2SiF_6 (silikofluorid sodný), CaSiF_6
 - působí přednostně jako mineralizátory

- mineralizátory
 - upřednostňují tvorbu jednoho slínkového minerálu na úkor druhého (alit C_3S je upřednostněn před belitem C_2S)
 - např.: sádrovec (vedlejší funkce legující přísada)
- legující přísady
 - zlepšují melitelnost slínku, obecně kvalitu slínku
 - např.: fosfáty – fosforečnany: fosfonit, apatit (obsah do 1%)

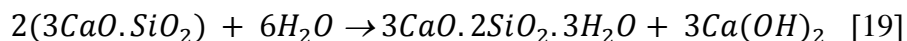
2.1.1.2. Slínkové minerály

Výpalem surovinové moučky získáme portlandský slínek. Po mineralogické stránce se tento produkt skládá ze čtyř základních slínkových minerálů, a to C_3S (alit), C_2S (belit), C_3A (trikalciumaluminát), C_4AF (brownmillerit), skelné fáze a tzv. vedlejších složek.

alit C_3S

Po stránce chemické lze napsat jako $3 CaO.SiO_2$, jinak trikalciumsilikát s příměsí Al_2O_3 a MgO (akcesoricky zastoupeny tzn. v malé míře). Alit je nejdůležitějším slínkovým minerálem. Jeho obsah ve slínku se pohybuje kolem hodnot 60 až 65%. Vzniká při teplotách nad $1250\text{ }^{\circ}C$ a ve slínku se vyskytuje v nestabilním podchlazeném stavu (stabilní $1250 - 1900\text{ }^{\circ}C$). Jeho obsah ovlivňuje rychlost tvrdnutí, hydratační teplo a pevnosti (zejména počáteční) cementu. Má vysokou hydratační rychlost a vysoký vývin hydratačního tepla, hodnota $Q_H = 500\text{ kJ/kg}$. Při hydrataci 2 molů C_3S se uvolňují tři moly $Ca(OH)_2$, následkem je nízká odolnost proti agresivnímu prostředí (působení síranových vod, kdy vzniká sekundární ettringit – minerál vyznačující se nárůstem objemu až na 270% objemu původního, způsobuje prakticky rozpad cementového kamene, což má za následek poruchu konstrukce)

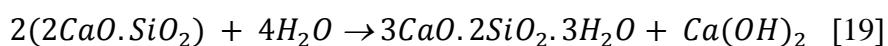
- Hydratace C_3S :



belit C_2S

Jinak $2CaO.SiO_2$, tedy dikalciumsilikát je druhým nejdůležitějším slínkovým minerálem. Ve slínku je zastoupen v menší míře než alit a to kolem hodnoty 20 % (horší melitelnost). Belit má dobré dlouhodobé pevnosti, jeho počáteční pevnosti jsou ale nízké. Vyznačuje se pozvolnou hydratací, vývin hydratačního tepla je nízký, hodnota $Q_H = 250$ kJ/kg. Je vysoce odolný vůči agresivnímu prostředí. V portlandském slínku se vyskytuje v nestabilním podchlazeném stavu ve 4 polymorfních modifikacích (α - C_2S , α' - C_2S , β - C_2S , γ - C_2S).

- Hydratace C_2S :



trikalciumaluminát C_3A

Jeho obsah ve slínku kolem 8 %, je součástí tmavé mezerní hmoty, společně s MgO a Na_2O . Rychle tuhne a tvrdne, konečné pevnosti jsou ale poměrně nízké (degradace postupem času), pro zpomalení tuhnutí se přidává do cementu jako regulátor tuhnutí sádrovec v množství 5 až 6%. Má vysoký vývin hydratačního tepla, hodnota $Q_H = 860$ kJ/kg (nutnost ošetřování zrající betonové konstrukce). Není odolný vůči agresivnímu prostředí.

brownmillerit (celit) C_4AF

Lze napsat chemickým vzorcem $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$, jinak tetrakalciumaluminátferit. Ve slínku je obsažen v množství kolem 10 %. Celit je součástí tzv. světlé mezerní hmoty. Ve skutečnosti se jedná o tuhý roztok (složení od $C_2F - C_{12}O_7$ – až k CaO), krystalograficky se však jedná o jediný minerál. Jeho hydratační teplo dosahuje hodnoty $Q_H = 420$ kJ/kg. Ze všech slínkových minerálů je nejvíce odolný vůči agresivnímu prostředí (snaha o zvýšení jeho obsahu v síranovzdorných cementech na úkor C_3A).

Kromě slínekových minerálů obsahuje portlandský slínek také skelnou fázi a vedlejší složky. Obsah skelné fáze ve slínku je v rozmezí 5 až 25%, jedná se o $C_3A + CaO + MgO$. Funkcí skelné fáze je zlepšení objemové stálosti a pevnosti. Mezi vedlejší složky patří MgO , volné CaO , alkálie $K_2O + Na_2O$, chloridy a P_2O_5 . [9, 20, 19, 18]

2.1.1.3. Výpočtová pravidla

Pro stanovení chemického složení (čtyři základní oxidy) surovinové moučky existuje celá řada výpočtových pravidel. Mezi základní pravidla patří tzv. stupeň sycení vápnem a modul hydraulicity.

- Stupeň sycení vápnem SL

$$SL = \frac{100 CaO}{2,8 SiO_2 + 1,18 Al_2O_3 + 0,65 Fe_2O_3} \quad [\%]$$

Udává poměr přítomného CaO , které je nutné k dokonalému zreagování s příslušnými oxidy SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 . U dobrých cementů se stupeň sycení pohybuje nad hodnotou 93% ve slínku. Při vyšší hodnotě dochází k výskytu volného vápna, což nechceme.

- Hydraulický modul MH

$$MH = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad [-]$$

Hodnota hydraulického modulu by se měla pohybovat kolem 1,9 až 2,2. Kromě hydraulického modulu existují další výpočtové moduly jako např.: modul silikátový, aluminátový, kalorický aj. Cementy, které mají vyšší hydraulický modul, je nutné vypalovat na vyšší teplotu (mají vyšší počáteční pevnosti a vyšší hydratační teplo díky zvýšenému obsahu vysoce vápenatých slínekových minerálů alitu a trikalciumaluminátu).

2.1.1.4. Technologie výroby

Portlandský cement se vyrábí buď mokrým nebo suchým způsobem. Tyto dva způsoby výroby se od sebe liší nejen zpracováním surovin, ale také fyzikálními vlastnostmi surovinové směsi, která je poté vypalována v různých typech cementářských pecí. Po určení zastoupení všech mineralogických složek je slínek dále zpracováván drcením a mletím na požadovanou jemnost, kdy je současně také přidáván sádrovec v dávce cca 5 % jako regulátor tuhnutí. Kromě sádrovce se při mletí velmi často přidávají i další jiné látky, které mají za úkol snížit výrobní náklady (při současném zachování dobrých fyzikálně-chemických vlastností cementu). Mezi nejčastěji přidávané látky patří tzv. látky latentně hydraulické, typickým zástupcem je vysokopecní struska. Mohou být přimílány také látky pucolánové, zástupcem je zde vysokopecní popílek anebo i látky inertní, nejčastěji mletý vápenec. Podle procentuálního zastoupení jednotlivých složek, jemnosti mletí a dalších vlastností je portlandský cement rozdělen na jednotlivé třídy (viz tabulka 6).

Tab. 6: Druhy portlandského cementu [20]

Druh cementu	Název cementu	Označení cementu	Slínek	Vysokopecní struska	Popílek	
					křemičitý	vápenatý
I	Portlandský cement	I	95-100	-	-	-
II	Portlandský struskový cement	II/A-S	80-94	6-20	-	-
		II/B-S	65-79	21-35	-	-
	Portlandský cement s křemičitým úletem	II/A-D	90-94	-	-	-
	Portlandský pucolánový cement	II/A-P	80-94	-	-	-
		II/B-P	65-79	-	-	-
		II/A-Q	80-94	-	-	-
		II/B-Q	65-79	-	-	-
	Portlandský popílkový cement	II/A-V	80-94	-	6-20	-
		II/B-V	65-79	-	21-35	-
		II/A-W	80-94	-	-	6-20
		II/B-W	65-79	-	-	21-35
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	II/A-T	80-94	-	-	-
		II/B-T	65-79	-	-	-
	Portlandský cement s vápencem	II/A-L	80-94	-	-	-
		II/B-L	65-79	-	-	-
	Portlandský směsný cement	II/A-M	80-94	6-25 21-35		
		II/B-M	65-79			

2.1.2. Hlinitanový cement

Tento druh cementu patří mezi nejmladší maltoviny. První cement tohoto druhu byl získán ve Francii v roce 1908 (J. Bied) a to tavením v kupolové peci. O několik let později v roce 1918 se přešlo na výrobu taveného hlinitanového cementu v elektrických pecích, později na výrobu neslinutého a konečně slinutého hlinitanového cementu. Velký zájem o tuto surovinu byl ve třicátých až šedesátých letech minulého století zejména proto, že vykazoval lepší vlastnosti než cementy portlandské. Jednou z výhod bylo, že po jednom dni hydratace měl pevnosti větší než mnohé portlandské cementy po 28 dnech. Používaly se tedy k rychlému betonování. Mezi další přednosti této maltoviny patří značný vývoj tepla při jeho hydrataci, který umožňuje betonáž za mírných mrazů. [20, 18]

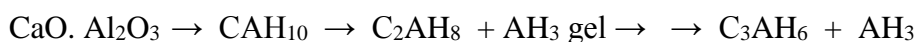
2.1.2.1. Suroviny pro výrobu hlinitanového cementu

Základními surovinami pro výrobu této maltoviny jsou bauxit a vápenec, někdy i pálené vápno. Stanovení optimálního poměru míchání těchto dvou surovin je závislé nejen na jejich složení a na způsobu pálení maltoviny, ale i na požadovaných vlastnostech. Základem směšovacího poměru obou surovin je molární poměr $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1 : 1$. Avšak má-li být hlinitanový cement použit pro stavební účely, bývá volen molární poměr $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 = 12 : 7$, odpovídající minerálu mayenitu, C_{12}A_7 , naopak při použití hlinitanového cementu jako žárovzdorného pojiva převažuje ve skladbě surovinové směsi obsah Al_2O_3 , takže výsledný cement obsahuje minerál C_3A_5 , příp. CA_2 a někdy i korund, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. [18]

2.1.2.2. Mineralogické složení

Co se týká mineralogického složení, hlavní složkou hlinitanových cementů je kalciumaluminát $\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$, zkráceně CA. Dále mohou hlinitanové cementy obsahovat minerály C_{12}A_7 , resp. C_5A_3 , C_7A_{12} , resp. C_3A_5 , CA_2 a $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Při hydrataci hlinitanového cementu vznikají kalciumhydroaluminátové fáze a hydroxid hlinitý. Prvotní hydratační fáze CAH_{10} a C_2AH_8 , resp. pouze C_2AH_8 u mayenitových cementů, jsou metastabilní. Postupem 30 až 60 let dochází k jejich transformaci na stabilní fázi C_3AH_6 , mineralogicky hydrogrossular a hydroxid hlinitý (AH_3), mineralogicky gibbsit. [19, 20]



Přeměna z hexagonálního systému CAH_{10} na systém kubický C_3AH_6 je doprovázena zmenšením objemu krystalů až o 40 %, v důsledku toho dochází ke zhroucení struktury, tzv. konverzi, a rozpadu cementového kamene. Tento jev má za následek havárii celé konstrukce. Hlinitanový cement se tedy nesmí používat pro konstrukční účely, používá se pro tepelně namáhané pecní vyzdívky či nekonstrukční stavební práce. [19, 20]

2.1.2.3. Technologie výroby

Úprava surovin je závislá na způsobu výroby maltoviny. Suroviny se dále zpracovávají výpalem do slinutí nebo tavbou. Při vypalování do slinutí by měla být směs co nejjemnější a dokonale promíchána (obdobně jako při výrobě portlandského slínku). Při výrobě tavené maltoviny zcela postačuje jemnější podrcení suroviny. Výpal probíhá v pecích, musí se ale dbát na pomalé chlazení slínku, neboť jen dobře vykrystalizovaný hlinitanový cement vykazuje dobré hydraulické vlastnosti.

Je důležité podotknout, že jeho tuhnutí se nesmí regulovat přidavkem sádrovce (jako u portlandského cementu). Sádrovec v tomto případě nepůsobí jako zpomalovač, ale naopak jako velmi účinný urychlovač tuhnutí. [19, 20, 18]

2.1.2.4. Výhodné vlastnosti

- velmi rychlý nárůst pevností za běžných teplot
- velké hydratační teplo (zimní práce)
- vysoká odolnost proti působení agresivních vod (síranových, mořských)
- odolnost vůči působení vysokých teplot, více než 1100 °C (žárovzdorné materiály)

Díky těmto vlastnostem, je doporučeno použití hlinitanového cementu pro některé speciální účely. Využívá se např.: při nutnosti rychlých oprav železobetonových konstrukcí, při stavbách nádrží na minerální vody, při zakládání staveb s výskytem zemin s agresivními vodami a také při výrobě ohnivzdorného betonu a jako pojivo v samonivelačních podlahových směsích. [18]

2.1.3. Sádrovec

Sádrovec, chemicky $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, je základní surovinou pro výrobu sádrových maltovin. Jedná se o minerál, který je průhledný, bezbarvý nebo bílý (může mít i jiné zbarvení, které je dáno obsahem příměsí – jíly, oxidy, hydroxidy Fe). Tento minerál krystalizuje v soustavě monoklinické, tedy jednoklonné. Krystalky jsou tabulkovité, sloupcovité, čočkovité nebo vláknité (selenit). Často dochází ke znečištění, nejčastěji jílem, úlomky vápence nebo dolomitem. Barva je v tomto případě šedá, růžová nebo světle hnědá. Tvrdost dle Mohsovy stupnice je v rozmezí od 1,5 až 2. Objemová hmotnost sádrovce je 2320 kg/m^3 . Chemicky čistý sádrovec obsahuje 32,56 % CaO, 46,51 % SO_3 a 20,93 % H_2O . Měrná hmotnost se pohybuje kolem hodnoty 2,30 až $2,32 \text{ g/cm}^3$. Ve vodě je málo rozpustný, existuje zde závislost na teplotě prostředí – při 18°C je to zhruba 0,20 %, 40°C kolem 0,21 % a při 100°C cca 0,17 % hmotnosti.

2.1.3.1. Rozdělení dle vzniku

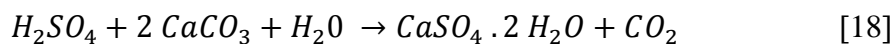
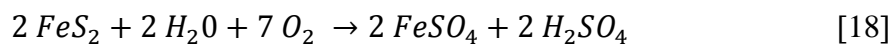
- V přírodě se sádrovec vyskytuje v ložiskách, která podle jejich vzniku můžeme rozdělit na primární a sekundární

a) Primární

- Vznikla u uzavřených moří nebo slaných jezer odpařováním vody. Tím dochází k zvětšení koncentrace solí v těchto vodách obsažených a také k následnému přesycení roztoku. Proto docházelo postupně k jejich vylučování a usazování. Nejdříve se vylučovaly soli ve vodě málo rozpustné, mezi které patří i síran vápenatý, a pak teprve soli rozpustnější, zejména sloučeniny sodné a draselné. Proto takto vzniklá ložiska mají spodní vrstvy sádrovcové a nadložní většinou ze solí sodných a draselných.

b) Sekundární

- Vznik rozkladem pyritu za přítomnosti vápence (erozním působením)



Některá ložiska jsou velmi čistá, avšak mohou být do různého stupně znečištěna anhydritem, dolomitem, vápencem, slínou, jíly apod.

- Umělé sádrovce tzv. průmyslové sádrovce se dělí dle odlišného způsobu vzniku na energosádrovec a chemosádrovec.

a) Ergosádrovec

- Vzniká při odsíření kouřových plynů při tzv. desulfatačním procesu v elektrárnách pracujících s fosilními palivy.

b) Chemosádrovec

- Vzniká v chemických provozech, ve kterých se používá $H_2SO_4 \rightarrow$ odpadní vody obsahující SO_4^{2-}
- například při výrobě titanové běloby z Ilmenitu ($FeO \cdot TiO_2$), což je i případ námi používaného sádrovce Precheza

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cíl práce

Cílem bakalářské práce je optimalizace receptur pro výrobu samonivelačních směsí na bázi ternárního pojivového systému tvořeného portlandským cementem, sádrovcem a hlinitanovým cementem.

1. Metodika

Bakalářská práce navazuje na předchozí vývoj samonivelačních směsí s ternárním pojivovým systémem. V rámci předchozího řešení byl uskutečněn výzkum a stanovení vlastností pojivového ternárního systému včetně jeho modifikace potenciálními přísadami, navržena granulometrie použitého kameniva a závěrem provedena laboratorní příprava a odzkoušení normou sledovaných vlastností vybraných samonivelačních směsí.

V současné fázi vývoje, která je předmětem bakalářské práce, byly na základě předchozích výsledků nejprve poloprovozně vyrobeny samonivelační stěrky ve dvou pevnostních třídách a odzkoušeny jejich aplikační vlastnosti. Poté byly tyto stěrky podrobeny normou sledovaným zkouškám a výsledky porovnány s vlastnostmi obdobných směsí, navržených a laboratorně odzkoušených v předchozí práci. Na základě srovnání hodnot sledovaných vlastností byla uskutečněna úprava receptur, a to zejména ve smyslu potenciálního vynechání provzdušňovací přísady a snížení dávky retenční přísady. Závěrem bakalářské práce byla provedena zkouška možného probarvení samonivelační stěrky.

2. Postup prací

2.1. Poloprovozní zkouška

Poloprovozní zkouška byla uskutečněna ve výrobním závodě firmy Rosomac během listopadu 2015 (1. šarže) a u vzorku C20 i během ledna 2016 (2. šarže). Za tímto účelem bylo na výrobní lince připraveno dle dříve vypracovaných receptur vždy 350 kg samonivelační stěrky pevnostní třídy C20 a 350 kg samonivelační stěrky pevnostní třídy C30.

Zkušební betonové plochy o rozměrech 200x250 cm pro aplikaci směsí se nacházely ve zkušebním objektu firmy. Povrchy ploch byly nejprve zbaveny prachu průmyslovým vysavačem a poté ošetřeny adhezním můstkem. Před odletem stěrek bylo stanoveno potřebné

množství rozdělovací vody normovou zkouškou na rozliv podle EN 12706. Nadávkovaná samonivelační směs s vodou byla důkladně rozmíchána vrtulovým mísidlem a po cca minutovém odležení znovu krátce promíchána. Rozmíchaná stěrka byla poté rovnoměrně rozlita na připravený podklad. Vzniklá vrstva tloušťky cca 6 mm byla odvzdušněna ježkovým válečkem a dle potřeby dorovnána zubovým hladítkem. Teplota prostředí během aplikace samonivelačních směsí činila 8° – 10°C. Současně s provedenou aplikací byly uskutečněny odběry vzorků suchých směsí ke stanovení normou sledovaných vlastností. Po 24 hodinách byly vizuálně posouzeny aplikační vlastnosti odlitých samonivelačních stěrek.

Odebrané vzorky poloprovozně vyrobených stěrek byly v laboratořích ÚTHD podrobeny zkouškám technologických vlastností, tj. stanovení konzistence podle EN 12706, pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu po 7 a 28 dnech hydratace v normovém prostředí a dále stanovení objemové hmotnosti. Výsledky byly srovnány se stanovením technologických vlastností stěrek obdobného složení z předchozího výzkumu.

2.2. Úprava vlastností poloprovozně vyrobených stěrek

Po vyhodnocení dosažených výsledků technologických vlastností poloprovozně vyrobených stěrek byla uskutečněna následující úprava receptury vzorku C20:

- a) vynechání provzdušňovací přísady
- b) snížení dávky retenční přísady z původní hodnoty 0,05% na hodnotu 0,04%, 0,03% a 0,025% vztaheno na hmotnost vzorku.

Současně byla z ekonomických důvodů v této etapě odzkoušena záměna původně používaného plastifikátoru Melflux a odpěňovací přísady Agitan za cenově výhodnější plastifikátor HSH a odpěňovač Sitrex.

Následně byly vzorky upravených samonivelačních směsí v pevnostní třídě C20 laboratorně připraveny a podrobeny výše popsaným zkouškám.

2.2.1. Obecné zásady

K přípravě vzorků samonivelačních směsí byl použit portlandský cement, hlinitanový cement, sádrovec, drcené kamenivo a příslušná aditiva. Bližší specifikace jednotlivých použitých surovin je uvedena v kapitole 3.1. Kromě sádrovce byly všechny uvedené suroviny použity bez jakékoliv předchozí úpravy. Sádrovec, který byl dodán s cca 10 % vlhkosti, bylo před použitím potřeba vysušit v laboratorní sušárně při teplotě max. 50 ° C do konstantní hmotnosti. Na přípravu vzorků suchých samonivelačních směsí byla nejprve na analytických

vahách odvážena aditiva, která byla poté důkladně zhomogenizována s příslušnou dávkou portlandského cementu, hlinitanového cementu a vysušeného sádrovce. Kamenivo bylo přidáváno v prvních 30s míchání přímo do laboratorní míchačky. Hmotnost jednorázově připravovaného vzorku odpovídala hodnotě 1500 g. Následující stanovení množství záměsové vody bylo stanoveno válečkovou metodou dle EN 12706 na rozliv 130 až 140 mm.

2.2.2. Stanovení konzistence

Připravené vzorky poloprovozně vyráběných stěrek byly podrobeny zkouškou stanovení normální konzistence čerstvé malty, tedy jedná se o určení množství vody potřebné pro zhotovení samonivelační směsi. Pro stanovení jsme použili nenasákavou podložní desku a rozlivný váleček o vnitřním průměru 30 mm a výšky 50 mm (viz obr. 8). Připravili jsme si maltovou kaši (500g vzorku + 145 ml vody) s počátečním vodním součinitelem 0,29.

Do laboratorní míchačky jsme nalili vodu a přidali připravený vzorek, nastala důkladná homogenizace složek. Na střed podložní desky jsme umístili rozlivný váleček a naplnili ho až po horní okraj. Poté jsme váleček zvedli směrem vzhůru, následně jsme změřili dva na sebe kolmé průměry. Hodnota vyhověla na rozliv mezních hodnot 130 až 140 mm. Množství potřebné vody pro další normové zkoušky bylo stanoveno na 434,16 ml.

2.2.3. Výroba zkušebních těles

V dalším kroku byly ze vzniklých malt zaformovány trámečky normových rozměrů 40×40×160 mm, které byly exponovány dle normou předepsaného postupu, tj. odformování po dvou dnech od jejich přípravy. Forma byla po celou dobu zakryta igelitovým materiálem. Po odformování byly trámečky volně uloženy v laboratorním prostředí. Z předepsaného prostředí byly trámečky odebírány po 7 a 28 dnech hydratace ke stanovení objemové hmotnosti, pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku.

2.2.4. Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku

Obě zkoušky jsou podrobně popsány v kapitole 1.5.1. Povinné normativní zkoušky, přesněji 1.5.1.1. a 1.5.1.2.

2.2.5. Objemová hmotnost

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno na trémčích normových rozměrů 40×40×160 mm připravených pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Jednotlivé vzorky byly zvaženy a změřeny. Měření probíhalo v souladu s požadavky ČSN EN 13892 [8].

Výsledná Objemová hmotnost je dána poměrem hmotnosti a objemu vzorku, vypočítá se z následujícího vztahu:

$$OH = \frac{m}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

2.3. Probarvení samonivelační stěrky

Probarvení samonivelační stěrky bylo uskutečněno ve dvou verzích na vzorku stěrky v pevnostní třídě C20. V první z nich byl použit kvůli příznivější cenové relaci organický modrý pigment s komerčním názvem Brilliant Blue, který byl dávkován v množství 0,05%, 0,1% a 0,17% vztaženo na hmotnost vzorku. Ve druhé verzi byla použita směs anorganických železitých pigmentů žlutého a červeného v dávkě (1+1)% a (1,5 + 1,5)% vztaženo na hmotnost vzorku.

U vzorků modifikovaných pigmenty byla nejprve vizuálně posouzena účinnost probarvení a v dalším kroku byly vzorky podrobeny výše popsaným technologickým zkouškám.

3. Použité suroviny a přístroje

3.1. Použité suroviny

Při experimentálních pracích byl pro základní ternární pojivový systém používán portlandský cement CEM I 42,5 R společnosti Českomoravský cement, a.s. závod Mokrý. Jeho chemické složení uvádí tabulka 7.

Tab. 7: Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrý [21]

Chemické složení [%]									
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	S ²⁻	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O
65	19	4	3	1	3,0	0,04	0,051	0,75	0,15

Dále Hlinitanový cement SECAR 51, jedná se o hydraulické pojivo na bázi monokalciumaluminátu CA s vedlejšími fázemi C₁₂A₇, C₂AS a CT. Jeho chemické složení uvádí tabulka 8.

Tab. 8: Chemické složení Al-cementu SECAR 51 [22]

Chemické složení [%]								
CaO	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃ +FeO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	SO ₃
37,5-39,5	51,5-53,5	49,5-51,5	4-6	< 4	< 3,5	< 1	< 0,4	< 0,3

Poslední základní složkou ternárního pojivového systému je sádrovec Pregips, který byl odebrán v závodě Precheza Přerov. Jedná se o bílý průmyslový sádrovec s min. 95% obsahem CaSO₄ · 2H₂O v sušině, získávaný jako vedlejší produkt při výrobě titanové běloby. Jeho čistota je vysoká, jen s nízkým množstvím doprovodných látek. Přehled základních kvalitativních znaků uvádí tabulka 9.

Tab. 9: Kvalitativní znaky sádrovce Pregips

Sledovaná vlastnost	Deklarovaná hodnota [%]
Obsah CaSO ₄ · 2H ₂ O	min. 95
pH [-]	5 až 8
MgO rozpustné ve vodě	max. 0,1
Na ₂ O rozpustné ve vodě	max. 0,06
Cl ⁻ rozpustnost ve vodě	max. 0,01
Vlhkost	max. 13

Základní pojivová báze byla modifikována plastifikátorem Melflux 6681 F (později náhrada HSH - S2000), dodavatel Stachema CZ, s.r.o. Brno, dále provzdušňovací přísadou Berolan LP 50, práškovou odpěňovací přísadou Agitan P (později náhrada SITREX), disperzní přísadou Dairen DA 1400 a retenční přísadou Ter Cell HPMC BCF B 75000 S PF, dodavatel HSH Chemie, s.r.o. Praha.

Melflux 6681 F

Jedná se o plastifikační přísadu na bázi modifikovaných polykarboxylových éterů.

Berolan LP 50

Je provzdušňovací prášková přísada na bázi laurylsulfonanu sodného, dodána firmou HSH Chemie Praha. Obvyklá dávka se pohybuje kolem 0,1 %.

Dairen DA 1400

Prášková redispergovatelná přísada na bázi kopolymerů vinyl acetát-etylénu, který se okamžitě rozpouští ve vodě a vytváří stabilní emulsi. Dodána firmou HSH Chemie Praha. Doporučené dávkování 0-0,6 %.

Ter Cell HPMC BCF B 75000 S PF

Jedná se o práškovou přísadu na bázi éterů celulózy modifikovanou škroby. Slouží pro vodní retenci, upravuje reologické vlastnosti směsi, používá se také jako zahušťovadlo aj., obvyklé dávkování do 0,3 %.

Kamenivo frakce 0-0,8 mm bylo dodáno firmou Rosomac, s.r.o. Jedná se o drcené kamenivo typu svratecká ortorula z lokality Předklášteří. Mineralogické složení se sestává především z křemene, živců, muskovitických slíd a chloritů.

3.2. Použité přístroje

V průběhu prací bylo využito následujících zařízení, kterými byly vybaveny laboratoře ÚTHD VUT Brno, kde probíhala majoritní část experimentu.

Laboratorní Míchačka

Dle normy ČSN EN 196-1 [23], viz obr. 5

Analytické váhy

Sartorius analytic, viz obr. 6

Laboratorní váhy

Radwag PS 4500/C/2, $e = 0,1$ g, $d = 0,0$, g. Viz obr. 7

Rozlivný váleček

Použit pro stanovení konzistence čerstvé malty, tedy množství vody pro samonivelační směsi válečkovou metodou dle EN 12706. Rozlivný váleček má vnitřní průměr 30 mm a výšku 50 mm, viz obr. 8.

Formy na zkušební tělesa

Byly použity trojformy pro trámečky $160 \times 40 \times 40$ mm, dle normy [24] zhotoveny z oceli nebo z jiného srovnatelného materiálu, který nereaguje s potěrovým materiálem, viz obr. 9.

Zkušební stroj pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

Dle normy ČSN EN 196-1 [23], viz obr. 10

Přípravek do zkušebního přístroje pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a přípravek pro stanovení pevnosti v tlaku

Dle normy ČSN EN 196-1 [23], viz obr. 11 a 12

Laboratorní sušárna

Sušárna Binder FD 53, viz obr. 13

Digitální posuvné měřidlo

Digital Caliper 200 mm, viz obr. 14



Obr. 5: Laboratorní míchačka



Obr. 6: Analytické váhy



Obr. 7: Laboratorní váhy



Obr. 8: Rozlivný váleček



Obr. 9: Forma na zkušební tělesa



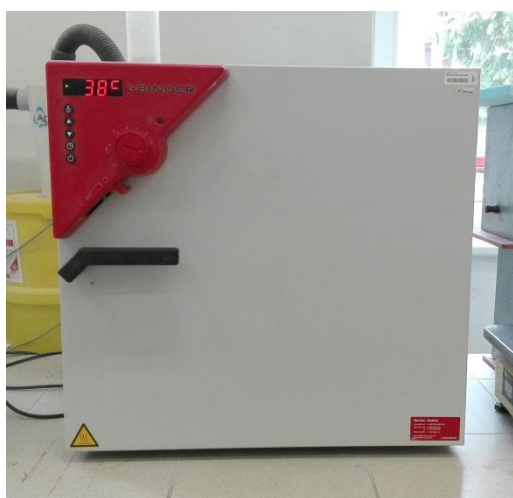
Obr. 10: Zkušební stroj (lis)



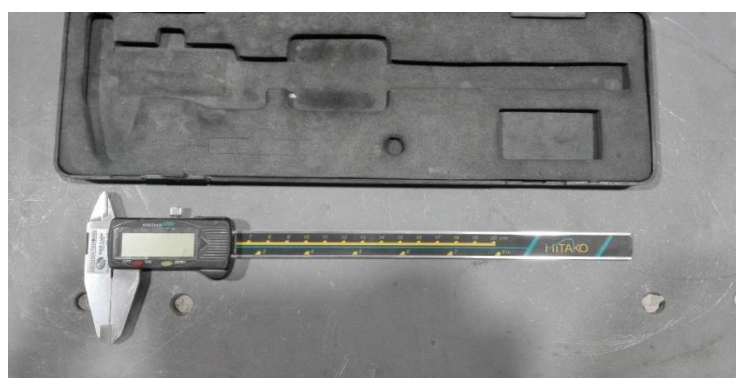
***Obr. 11: Přípravek pro stanovení
pevnosti v tahu za ohybu***



***Obr. 12: Přípravek pro
stanovení pevnosti v tlaku***



Obr. 13: Laboratorní sušárna



Obr. 14: Digitální posuvné měřidlo

4. Vyhodnocení výsledků

4.1. Poloprovozní zkouška

Složení poloprovozně vyrobených samonivelačních stěrek pevnostních tříd C20 a C30, které byly připraveny na základě předchozího řešení, je uvedeno v tabulce 10. Vzorku C20 odpovídal svým složením v předchozím řešení odzkoušený vzorek s označením S11-II a vzorku C30 odpovídal vzorek S11-III. Pro současnou práci byly vzorky S11-II a S11-III použity jako vzorky referenční.

Tab. 10: Složení poloprovozně vyrobených stěrek C20 a C30

Složka	Obsah složky [%]	
	C20 (S11-II)	C30 (S11-III)
Cement CEM I 42,5 R	30	40
Hlinitanový cement	1	1
Sádrovec	2	2
Plnivo frakce 0-0,8 mm	67	57
Provzdušňovací přísada Berolan	0,015	0,015
Adhezní přísada Dairen	0,15	0,15
Odpěňovací přísada Agitan	0,25	0,25
Plastifikátor Melflux	0,35	0,35
Retenční přísada Terr Cell	0,05 (0,15)	0,05

Technologické vlastnosti poloprovozně vyrobených stěrek C20 a C30 a současně v předchozí práci stanovené technologické vlastnosti referenčních laboratorně připravených stěrek stejného složení uvádí tabulka 11.

Tab. 11: Technologické vlastnosti stěrek

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku				
	Referen.	Poloprovozní C20		Referen.	Poloprov.
	S11-II	1. šarže	2. šarže	S11-III	C30
Množství záměsové vody [l/kg]	0,327	0,289	0,3	0,275	0,289
Rozliv [mm]	140x140	140x140	140x140	140x140	140x140
Pevnost v tlaku [MPa]					
7 dnů	8,6	4,2	6,1	23,3	12,5
28 dnů	15,8	12,2	12	37,2	22,8
Pevnost v ohybu [MPa]					
7 dnů	2,9	1,1	1,8	6,0	3,6
28 dnů	4,8	3,8	4,0	8,2	6,0
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]					
7 dnů	1861	1771	1694	1978	1795
28 dnů	1738	1607	1689	1894	1692

Z dosažených výsledků vyplývá:

- oproti referenčnímu vzorku S11-II byl v obou šaržích poloprovozního vzorku C20 snížen obsah retenční přísady TerrCell, což se projevilo podstatným snížením potřebného množství záměsové vody. U vzorku C30 bylo ve srovnání s referenčním vzorkem S11-III naopak nutné pro daný rozliv 140x140 mm množství záměsové vody zvýšit. Uvedený efekt lze vysvětlit jednak určitou nepřesností průmyslového dávkování ve srovnání s dávkováním laboratorním, v úvahu přichází i poněkud odlišná vnitřní granulometrie použitého kameniva frakce 0-0,8 mm ve smyslu přítomnosti vyššího obsahu prachových podílů
- poloprovozně vyrobené vzorky stěrek vykázaly podstatně nižší pevnosti než odpovídající vzorky referenční. Nižší pevnost vzorku C30 oproti vzorku S11-III je vysvětlitelná větším množstvím záměsové vody, avšak rozdíl v pevnostech vzorku C20 a S11-II tímto faktorem vysvětlit nelze. Proto je nutné zohlednit i další vlivy, mezi které lze zařadit subjektivní chybu měření, změnu výrobce, a tudíž změnu kvality cementu CEM 40, poněkud odlišné průmyslové dávkování jednotlivých komponent

- aby se potvrdil vliv poněkud odlišného průmyslového dávkování, event. odlišné kvality použitého cementu, byl vzorek C20 průmyslově vyroben a odzkoušen ve dvou šaržích. Z tabulky je zřejmé, že dosažené výsledky technologických vlastností této stěrky vyrobené v první a ve druhé šarži si byly velmi podobné.

Co se týče aplikačních vlastností poloprovozně vyrobených stěrek, lze konstatovat:

- rozlití a finální úprava povrchu obou vzorků stěrky C20 i vzorku C30 proběhly bez problémů
- po 24 hodinách od aplikace byly stěrky v obou pevnostních třídách C20 i C30 pochůzné, viz obr. 15
- povrch aplikovaných stěrek byl prostý trhlin, zcela ojediněle byly pozorovány bublinky průměru do 1 mm, které patrně vznikly v důsledku použití provzdušňovací přísady, viz obr. 16
- celkově lze hodnotit aplikační vlastnosti obou stěrek C20 a C30 jako velmi dobré.



Obr. 15: Stěrka C20 po 24 hodinách od aplikace



Obr. 16: Detail stěrka C20

4.2. Úprava vlastností poloprovozně vyrobených stěrek

Návrh na modifikaci složení původní stěrky C20 uvádí tab. 12. Vedle referenčního vzorku poloprovozně připravené stěrky C20 s použitím původního plastifikátoru Melflux a odpěňovací přísady Agitan byla navržena stěrka C20 se substitucí Melfluxu novým plastifikátorem HSH a odpěňovací přísady Agitan analogickou přísadou Sitrex.

Tab. 12: Návrh a úprava složení stěrky C20

Složka	Obsah složky [%]	
	C20 (M)	C20 (H)
Cement CEM I 42,5 R	30	30
Hlinitanový cement	1	1
Sádrovec	2	2
Plnivo frakce 0-0,8 mm	67	67
Provzdušňovací přísada Berolan	0,015	0,015
Adhezní přísada Dairen	0,15	0,15
Odpěňovací přísada Agitan	0,25	-
Odpěňovací přísada Sitrex	-	0,25
Plastifikátor Melflux	0,35	-
Plastifikátor HSH	-	0,35
Retenční přísada Terr Cell	0,05	0,05

Technologické vlastnosti ve výše uvedené tabulce specifikovaných vzorků uvádí tab. 13.

Tab. 13: Technologické vlastnosti stěrek C20

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku	
	C20 (M)	C20 (H)
Množství záměsové vody [l/kg]	0,300	0,289
Rozliv [mm]	140x140	140x140
Pevnost v tlaku [MPa]		
7 dnů	6,1	6,6
28 dnů	12,0	15,2
Pevnost v ohybu [MPa]		
7 dnů	1,8	1,8
28 dnů	4,0	5,0
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]		
7 dnů	1694	1750
28 dnů	1689	1708

Na základě výsledků uvedených v tabulce 13 lze říci:

- oproti referenčnímu poloprovazně připravenému vzorku C20(M) vyžadoval vzorek C20(H) poněkud nižší množství záměsové vody. Tato skutečnost se projevila na mírném nárůstu tlakových i ohybových pevností
- jak vyplývá z výše uvedeného, záměna původně zkoušeného plastifikátoru i odpeňovače za ekonomicky výhodnější analogy měla na vlastnosti stěrky buď neutrální, anebo mírně pozitivní vliv

4.3. Probarvení samonivelační stěrky

V první části této etapy bylo zkoušeno probarvení stěrky modrým organickým pigmentem Brilliant Blue. Organické pigmenty sice jsou většinou v prostředí alkalického pH barevně nestabilní, ovšem dřívější zkušenost s tímto pigmentem byla taková, že jím probarvené hydratované cementy barevnou změnu nevykazovaly.

Vzhledem k vysoké vydatnosti pigmentu bylo použito dávkování od 0,05 do 0,17% hm. vztaženo na hmotnost suché stěrky. Pohled na vlastní pigment a stěrku probarvenou tímto pigmentem po rozmíchání s vodou uvádí obr. 17.

a)



b)



Obr. 17: organický pigment *Briliant Blue* a) suchá fáze b) po aplikaci 0,05% do suché stěrky a rozmíchání s vodou

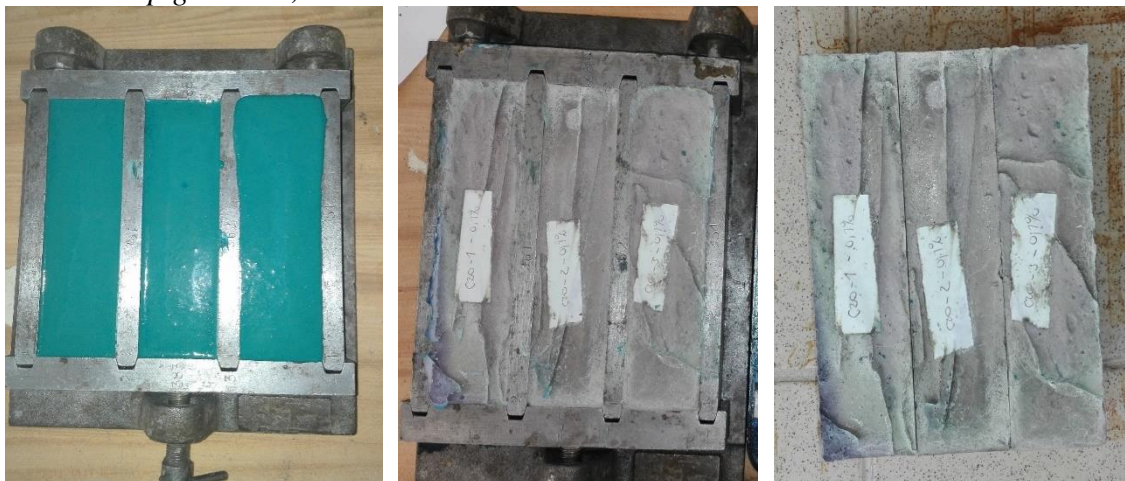
Z obrázku je zřejmé, že pigment udělí čerstvé směsi již v nejnižší zvolené koncentraci 0,05% příjemnou akvamarínovou barvu. Jak je však patrné z níže uvedených obrázků 18, 19 a 20, tato barva se ještě před odformováním zkušebních těles i při nejvyšší zvolené koncentraci ze stěrky vytrácí. K vysoké nestabilitě použitého pigmentu patrně přispěla nejen hodnota pH cementové pasty, ale i vliv použitých přísad, s největší pravděpodobností použitého plastifikátoru.

a) koncentrace pigmentu 0,05%



Obr. 18: *Briliant Blue* : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,05%)

b) koncentrace pigmentu 0,1%



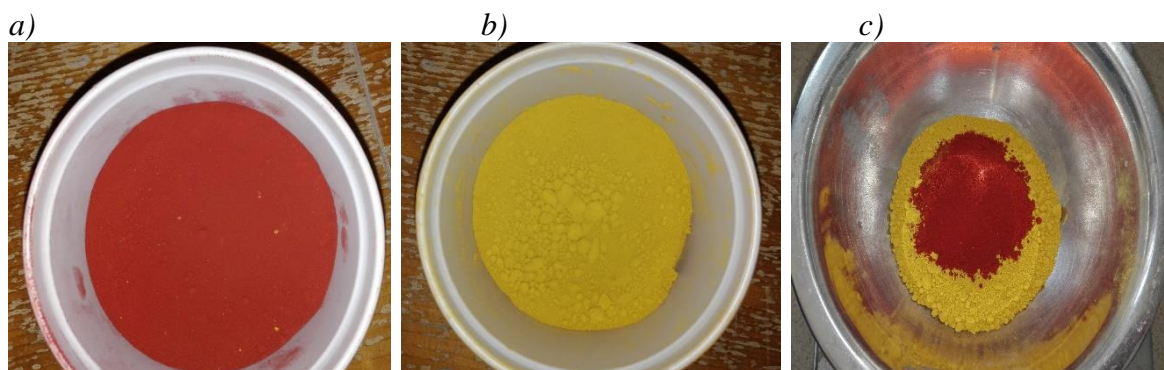
Obr. 19: *Briliant Blue : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,1%)*

c) koncentrace pigmentu 0,17%



Obr. 20: *Briliant Blue : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,17%)*

Ve druhé části byl proto zvolen směsný anorganický pigment, sestávající ze železitě žlutě a červeně. Dávkování tohoto směsného pigmentu bylo ve srovnání s předchozím o řád vyšší, konkrétně činilo: 1% červeného plus 1% žlutého pigmentu a dále 1,5% červeného a 1,5% žlutého pigmentu. Pohled na suché pigmenty a aplikaci jejich směsi do stěrky rozmíchané s vodou je patrný na obr. 21.



Obr. 21: anorganický železitý pigment a) červený, suchá fáze b) žlutý, suchá fáze c) suchá směs obou pigmentů v poměru 1:1

a) koncentrace směsného pigmentu 1%+1%



Obr. 22: směsný pigment po zamíchání s vodou (1%+1%)

b) koncentrace směsného pigmentu 1,5%+1,5%



Obr. 23: směsný pigment po zamíchání s vodou (1,5%+1,5%)

Jelikož při použití směsného anorganického pigmentu bylo probarvení samonivelačních stěrek vyhodnoceno v závislosti na době uložení jako stabilní, přikročilo se dále k odzkoušení základních technologických vlastností takto modifikovaných vzorků, viz tab. 14.

Tab. 14: Technologické vlastnosti stěrek modifikovaných směsným železitým pigmentem

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku			
	C20		C30	
	1+1% pigmentu	1,5+1,5% pigmentu	1+1% pigmentu	1,5+1,5% pigmentu
Množství záměsové vody [l/kg]	0,289	0,289	0,289	0,289
Rozliv [mm]	140x140	140x140	140x140	140x140
Pevnost v tlaku [MPa]				
7 dnů	7,3	6,8	14,2	15,6
28 dnů	12,8	12,4	25,3	26,7
Pevnost v ohybu [MPa]				
7 dnů	2,6	2,6	4,7	4,4
28 dnů	4,6	4,4	7,9	7,5
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]				
7 dnů	1825	1885	1962	1885
28 dnů	1764	1798	1823	1802

Z výsledků uvedených v tabulce vyplývá:

- přes stejné množství záměsové vody a stejné rozlití jsou pevnosti pigmentovaných vzorků vyšší než všech ostatních zkoušených vzorků neprobarvených
- jelikož je známo, že železitý pigment obvykle poněkud snižuje pevnosti cementového kamene, je nutné přiklonit se k závěru, že výsledky pevnostních zkoušek, viz výše, jsou zatíženy s nejvyšší pravděpodobností chybou měření
- stanovené objemové hmotnosti po 28 dnech expozice v laboratorním prostředí vykazaly vlivem vysychání nižší hodnoty než po 7 dnech uložení v témže prostředí.

5. Diskuze výsledků

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- v rámci poloprovozní přípravy a odzkoušení vlastností v předchozí etapě vyvinutých stěrek bylo zjištěno, že vyrobené vzorky vykázaly velice dobré aplikační vlastnosti. Při vlastní pokládce byl potvrzen dokonalý rozliv stěrek, srovnatelný s obdobnými komerčně vyráběnými hmotami. Po 24 hodinách po aplikaci byly stěrky ve verzi C20 i C30 pochůzné a prosté trhlin. Ojedinele byly pozorovány nepatrné bublinky velikosti do 1 mm
- pevnosti poloprovozně vyrobených stěrek nedosahovaly výsledků pevnostních zkoušek získaných při vývoji těchto hmot v předchozí etapě řešení. Důvody tohoto negativního projevu mohou být různé, počínaje subjektivní chybou měření přes ne zcela přesné dodržení dávkování komponent při poloprovozní výrobě až po zhoršenou kvalitu použitého cementu. Jelikož v recepturách navržené dávkování cementu se jeví jako dostatečné, bylo by možné pevnosti optimalizovat potenciálním snížením dávkování či úplným vynecháním těch přísad, které výrazně zvyšují potřebné množství záměsové vody, a tudíž vedou ke snížení pevností. Doporučuje se proto prověřit možnost vynechání provzdušňovací přísady a snížení dávky retenční přísady
- v průběhu experimentálních prací byl kladen důraz i na ekonomickou efektivitu výroby. V rámci uvedeného byl odzkoušen převod plastifikační přísady Melflux za přísadu HSH s deklarovaným obdobným účinkem. Současně byla odzkoušena i záměna odpěňovací přísady Agitan za přísadu Sitrex. Provedenými zkouškami bylo potvrzeno, že uvedené změny nevedly ke zhoršení sledovaných vlastností, naopak bylo pozorováno mírné zlepšení pevností
- pro zkoušku probarvení samonivelačních stěrek byl navržen jednak modrý organický pigment a jednak směsný železitý anorganický pigment. Použití modrého organického pigmentu se ukázalo jako zcela nevhodné, neboť díky alkalickému prostředí cementové pasty a patrně i vlivem použité plastifikační přísady došlo ještě před odformováním vzorků k jejich úplnému odbarvení. Naopak použití železitého směsného pigmentu, které poskytlo vzorkům terakotovou barvu, se jeví jako velmi vhodné, neboť i stanovené pevnosti probarvených stěrek byly nejvyšší z celého zkoušeného souboru vzorků.

Závěr

V souladu se zadáním se bakalářská práce zabývala pokračováním vývoje samonivelačních směsí na bázi portlandského cementu. Konkrétně práce navázala na předchozí etapu řešení, která se zabývala návrhem a laboratorním odzkoušením vlastností samonivelačních stěrek.

Na základě vyvinutých receptur stěrek ve třídě C20 a C30 byly poloprovozně namíchány suché směsi, u nichž byly odzkoušeny aplikační a technologické vlastnosti. Zatímco výsledky aplikačních vlastností lze hodnotit velmi pozitivně, byly výsledky technologických vlastností, jmenovitě pevností, horší než stanovené v předchozí etapě řešení. Jelikož dávkování cementu bylo dodrženo a lze je považovat za dostačující, je možné důvody tohoto zhoršení hledat v subjektivní chybě stanovení pevností v předchozí či současné etapě řešení, event. poněkud odlišném průmyslovém dávkování surovin či horší kvalitě cementu CEM 42,5 od jiného výrobce

Co se týká možného probarvení samonivelačních stěrek, byl s úspěchem odzkoušen směsný železitý pigment, který poskytl vzorku stabilní terakotovou barvu a v žádném případě nevedl ke zhoršení pevností.

Pro další vývoj v této oblasti se doporučuje za účelem dodržení požadavku na dané pevnostní třídy odzkoušet kromě možného zvýšení dávky cementu i změnu jeho dodavatele a zvláště pokusit se optimalizovat dávkování přísad, které zvyšují potřebné množství záměsové vody, a tudíž zhoršují pevnosti.

Seznam použité literatury

- [1] ŠTENKO, M. *Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability, ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřicích metod*. Brno, 2011. 128 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
- [2] ČSN EN 13813. *Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [3] ČSN 74 4505. *Podlahy - Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [4] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-807-6007-1.
- [5] Technologický předpis pro provádění anhydritových potěrů Anhylevel spol. CEMEX. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz>.
- [6] *Speciální produkty.cz: Anhylevel*. CEMEX. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz/anhylevel.html>.
- [7] *Anhypodlahy.cz*. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.anhypodlahy.cz/lite-podlahy.html>.
- [8] ČSN EN 13892-2. *Zkušební metody potěrových materiálů: Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [9] FRIDRICHOVÁ, M. Maltoviny II, přednášky 2016
- [10] Technologický předpis pro podlahové potěry a samonivelační stěrky spol. BAUMIT, s r.o. Dostupné z: www.baumit.cz.
- [11] Bytové podlahy. *Bvgroup* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.bvgroup.cz/bytove-podlahy-anhydrit.php>
- [12] SALITH: betony, potěry. *SALITH: samonivelační sádrový potěr* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.salith.cz/salith/betony-potery/samonivelacni-sadrovypoter>

- [13] *Speciální produkty.cz: Cemlevel*. CEMEX. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz/cemlevel.html>.
- [14] Litý cementový potěr CemFlow. Imateriály [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/Informace-vyrobcu/Lity-cementovy-poter-CemFlow.html>.
- [15] Bvgroup: bytové podlahy. *Bvgroup: cementový potěr* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.bvgroup.cz/bytove-podlahy-cementovy-poter.php>
- [16] Technický list podlahové potěry a stěrky společnosti CEMIX Dostupné z: http://www.cemix.cz/data/files/pp_podlahy.pdf
- [17] IMateriály: podlahové potěry a časté příčiny jejich poruch. *IMateriály* [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/poruchy/podlahove-potery-a-nbsp-caste-priciny-jejich-poruch_101533.html
- [18] VAVŘÍN, F. *Maltoviny*. 3. vyd. Brno: Rektorát VUT v Brně, 1987. 253 s.
- [19] FRIDRICHOVÁ, M.; DVOŘÁK, K.; GAZDIČ D.; HÁJKOVÁ I.; *Maltoviny BJ16 – MODUL M02*, učební opory VUT FAST Brno, 2014, ISBN – 978-08-214-4973-2
- [20] FRIDRICHOVÁ, M.; K. DVOŘÁK a R. FRIDRICH. *Stavíme omítky 1*. vyd. Brno: ERA group spol, s.r.o., 2004. ISBN 80-7366-004-0
- [21] Technický list CEM I 42,5 R společnosti Českomoravský cement, HeidelbergCement Group, cementárna Mokrá. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.com/>.
- [22] Technický list produktu SECAR 51 společnosti Kerneos. Dostupné z: <http://www.kerneosinc.com/>.
- [23] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu: Část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [24] ČSN EN 13892-1. *Zkušební metody potěrových materiálů: Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

Seznam obrázků

Obr. 1:	Spojený potěr	16
Obr. 2:	Potěr na dělicí vrstvě	17
Obr. 3:	Potěr na izolační vrstvě	18
Obr. 4:	Potěr pro vytápěné podlahy	19
Obr. 5:	Laboratorní míchačka	42
Obr. 6:	Analytické váhy	42
Obr. 7:	Laboratorní váhy	42
Obr. 8:	Rozlivný váleček	42
Obr. 9:	Formy na zkušební tělesa	42
Obr. 10:	Zkušební stroj pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku	42
Obr. 11:	Přípravek do zkuš. přístroje pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu	43
Obr. 12:	Přípravek do zkuš. přístroje pro stanovení pevnosti v tlaku	43
Obr. 13:	Laboratorní sušárna	43
Obr. 14:	Digitální posuvné měřidlo	43
Obr. 15:	Stěrka C20 po 24 hodinách od aplikace	46
Obr. 16:	Detail stěrka C20	46
Obr. 17:	Organický pigment Brilliant Blue a) suchá fáze b) po aplikaci 0,05% do suché stěrky a rozmíchání s vodou	49
Obr. 18:	Briliant Blue : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,05%)	49
Obr. 19:	Briliant Blue : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,1%)	50
Obr. 20:	Briliant Blue : směs ve formě, po 7 dnech zrání a po odformování (0,17%)	50
Obr. 21:	Anorganický železitý pigment a) červený, suchá fáze b) žlutý, suchá fáze c) suchá směs obou pigmentů v poměru 1:1	51
Obr. 22:	Směsný pigment po zamíchání s vodou (1%+1%)	51
Obr. 23:	Směsný pigment po zamíchání s vodou (1,5%+1,5%)	51

Seznam tabulek

Tab. 1:	Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu	21
Tab. 2:	Pevnostní třídy potěrových materiálů	21
Tab. 3:	Odolnost proti ohrusu v třídách Böhme pro cem. a jiné potěrové mat.	22
Tab. 4:	Odolnost proti ohrusu v třídách BCA pro cem. a jiné potěrové mat.	22
Tab. 5:	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením pro cem. a jiné potěr. mat.	22
Tab. 6:	Druhy portlandského cementu	30
Tab. 7:	Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrý	39
Tab. 8:	Chemické složení Al-cementu SECAR 51	39
Tab. 9:	Kvalitativní znaky sádrovce Pregips	39
Tab. 10:	Složení poloprovozně vyrobených stěrek C20 a C30	44
Tab. 11:	Technologické vlastnosti stěrek	45
Tab. 12:	Návrh a úprava složení stěrky C20	47
Tab. 13:	Technologické vlastností stěrek C20	48
Tab. 14:	Technologické vlastností stěrek modifikovaných směsným železitým pigmentem	52